ANCORA UN PASSO: IL 286

Quando nella metà degli anni ottanta fece la sua comparsa questo microprocessore, fu facile intuire per esso un futuro brillante. Moltissimi costruttori hanno installato sulle proprie apparecchiature di fascia alta il microprocessore iAPX286 (denominazione ufficiale).

Il microprocessore a 16 bit doveva nascere mantenendo le sue caratteristiche principali compatibili con quelle del suo predecessore, l'8086. Questa era infatti la strada da percorrere secondo la Intel e, dopo molti anni, è stato dimostrato che l'idea di creare il nuovo sempre compatibile con il vecchio fu azzeccata. Seguendo questa filosofia di lavoro il 286 ha mantenuto la compatibilità con il suo predecessore, pur avendo subito una modifica nell'architettura interna del microprocessore; infatti, particolarità quali la commutazione tra applicazioni e livelli di priorità, modalità di indirizzamento reale e modalità di indirizzamento virtuale protetta sono stati gli elementi nuovi che hanno fatto del 286 il microprocessore più rapido e flessibile tra quelli già esistenti fino a quel momento. Le nuove tecniche di integrazione,

Il microprocessore 80286 è compatibile con il suo predecessore 8088

Il microprocessore 80286 è dotato di una unità di controllo interna che supporta l'indirizzamento della memoria virtuale

utilizzate per la costruzione di questi microchip, hanno permesso una maggior concentrazione di transistor in uno stesso volume; ciò ha reso possibile l'integrazione di diversi sottosistemi sullo stesso circuito integrato che hanno favorito l'aumento della velocità del processo e la riduzione sia dei volumi che del consumo di corrente. Senza alcun dubbio, il microprocessore 286 è stato un tipico esempio delle moderne tendenze alla superintegrazione. Questo chip è risultato molto più rapido rispetto ai precedenti della sua famiglia, grazie alla possibilità di eseguire le istruzioni più rapidamente e alla sua velocità di clock decisamente superiore. L'efficacia del 286 è dovuta anche al mantenimento dell'integrità dei software e dei dati, grazie alle sue speciali caratteristiche di protezione; questa particolarità diventa molto importante soprattutto nei sistemi multiutente. Lo stesso microprocessore è dotato di un'unità di controllo della memoria interna che supporta l'indirizzamento della memoria virtuale. Pertanto, la protezione delle aree di memoria, e la gestione della stessa e del suo indirizzamento virtuale, consentono effettivamente di lavorare con diversi utenti oppure in modalità multitasking. Esiste un'altra caratteristica che ha favorito la rapida introduzione e l'utilizzo di questo micro nei sistemi sviluppati dalla maggior parte dei costruttori, relativa all'insieme delle istruzioni compatibili con la famiglia 8088/8086. Da quando sono nati i personal computer, molti specialisti software hanno lavorato parecchio per produrre dei programmi (gestione, CAD/CAM, controllo di processo, ecc.) che potessero essere impiegati su queste apparecchiature, e le aziende che hanno investito il loro denaro e le loro risorse in questo tipo di produzione hanno apprezzato sicuramente l'importanza di questo aspetto. Il fatto che un microprocessore più rapido, flessibile, ed efficace fosse in grado di eseguire delle istruzioni scritte per l'8086 ha aperto una finestra alle innovazioni hardware, poiché non era richiesto un ulteriore investimento nel software; in pratica, ciò significava ammortizzare in un tempo molto più breve i costi per l'acquisto dei programmi. Anche i programmatori hanno usufruito di alcuni vantaggi, poiché potevano sfruttare completamente le esperienze acquisite negli anni precedenti con l'8086 senza dover apprendere da zero le tecniche e le strutture richieste dal nuovo micro. Si può definire questa situazione come un processo evolutivo nel quale ad un insieme di istruzioni già apprese viene aggiunto un altro gruppo di istruzioni che rendono più rapide e efficaci le operazioni che devono essere svolte.

Evoluzione delle architetture nei diversi microprocessori della INTEL

Microprocessore ad alte prestazioni, con possibilità reale di multitasking

Architettura del 286

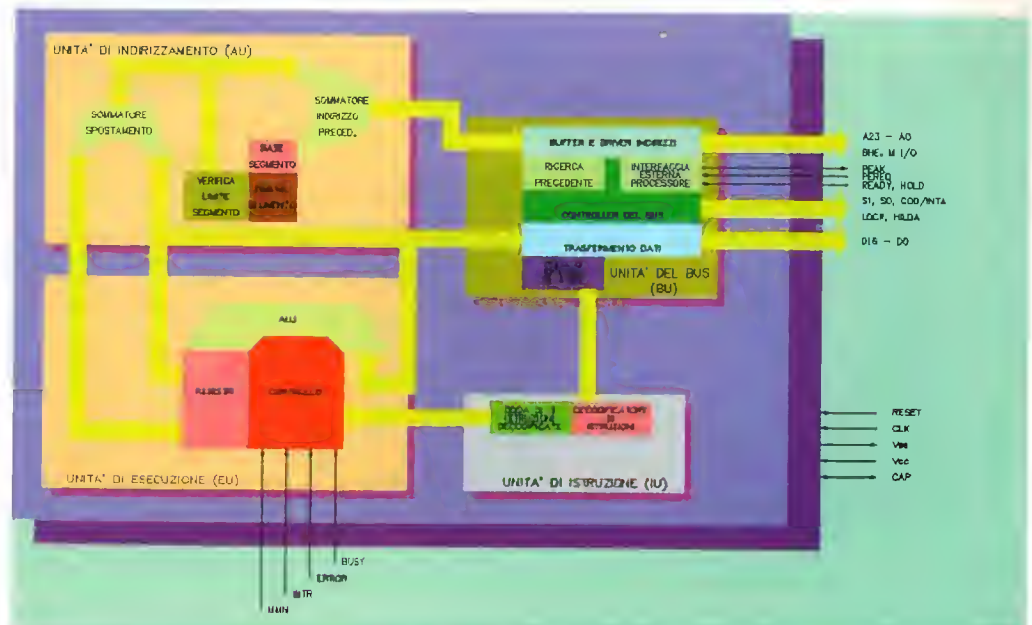
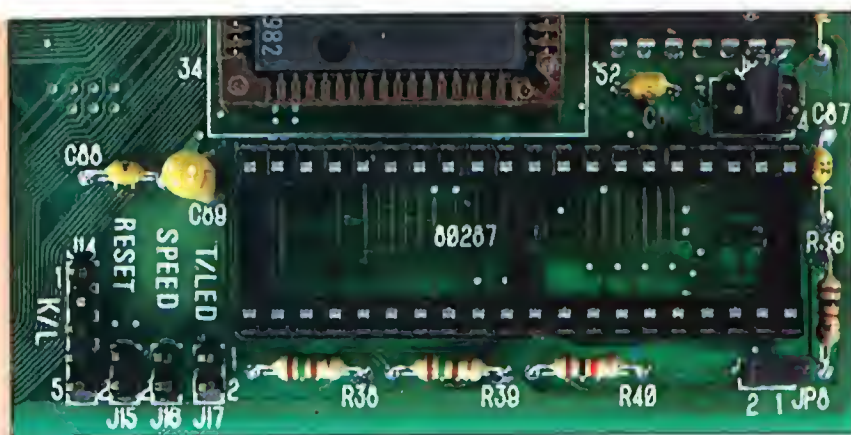
L'evoluzione dei microprocessori, e in generale della microelettronica, è sempre stata finalizzata ad una maggior integrazione dei circuiti integrati, ed in particolare di quelli che costituiscono la periferia del micro stesso. Infatti, le centinaia di circuiti esterni utilizzati in precedenza per eseguire le diverse operazioni sono pre-

Pin-out del circuito integrato 80286 in configurazione PGA

I modelli 8088 e 8086 contengono ciascuno 40.000 transistor che compongono la ALU

senti anche sulle schede madri più recenti, ma in una forma molto più integrata che richiede un minor numero di circuiti e una occupazione di volume inferiore.

La potenza di lavoro del 286 è dovuta alla maggiore rapidità con cui è in grado di eseguire le istruzioni del programma rispetto al piccolo 8086. Il microprocessore 286 è dotato di una unità interna MMU (*unità per la gestione della memoria*) che supporta l'indirizzamento virtuale e che rende questo chip più efficace per la protezione del software e dei dati. Questa caratteristica è particolarmente utile quando si lavora in multitasking (esecuzione di diverse operazioni in modo simultaneo) e in multiutenza (con diversi utenti collegati contemporaneamente). Prima di questo circuito venivano utilizzate MMU (unità per la gestione della memoria) esterne al microprocessore. Anche se alcune di queste schede aggiuntive erano in grado di fornire delle caratteristiche addizionali al microprocessore utilizzato, rallentavano però il sistema, generavano un aumento dei costi di produzione, e rendevano difficoltosa l'operazione di trasferimento del software da una macchina all'altra. Con il dispositivo MMU integrato nel microprocessore, tutti i personal equipaggiati con il 286 avevano lo stesso tipo di MMU, e ciò facilitava il travaso e la "trasportabilità" del software da un dispositivo all'altro. Inoltre, questo gestore di memoria inserito all'interno del microprocessore era più intelligente, e ciò consentiva una maggior efficacia nella protezione del sistema. Anche se il 286 è un circuito integrato a 16 bit come l'8086, le sue prestazioni sono decisamente maggiori. Questa differenza è dovuta al fatto che il numero dei transistor integrati nel 286 sono triplicati rispetto all'8086. Infatti, l'8088 e l'8086 contengono ciascuno 40.000 transistor che compongono la ALU, quali i registri dei dati, i buffer per gli indirizzi, i decodificatori di istruzioni, i contatori di programma, ecc. Nel 286 i transistor in più vengono utilizzati per migliorare le prestazioni

Blocchi interni del microprocessore 80286

Lo zoccolo del coprocessore matematico è posto in modo da facilitarne l'installazione

Il microprocessore 80286 a parità di frequenza di clock è 3,5 volte più rapido dell'8088

operative; in questo modo è possibile ottenere un risultato apprezzabile anche dall'utente, costituito da una velocità di elaborazione più alta (fino a 3,5 volte maggiore rispetto all'8088 e 2,5 volte in più dell'8086, a parità di frequenza di clock). Nell'80286 si è utilizzata una tecnica chiamata *pipelining*, termine che può essere liberamente tradotto come *sistema a tubazione*. Questo processo utilizza le diverse unità interne in modo parallelo: decodifica delle istruzioni, operazioni nella ALU (unità aritmetico logica), calcolo reale degli indirizzi. In un sistema normale (non pipelining), quando il microprocessore elabora una istruzione non accetta la successiva finché non ha terminato di operare con la prima. In un sistema pipelining invece, ogni unità lavora per suo conto secondo un preciso ordine. In questo modo, il decodificatore delle istruzioni può decodificare una di queste e proseguire con la successiva senza attendere che la ALU abbia terminato il suo lavoro. Questo sistema aumenta notevolmente la velocità complessiva del microprocessore. Le unità interne dell'80286 collegate in pipelining sono:

- *unità delle istruzioni*
- *unità di esecuzione*
- *unità di indirizzamento*
- *unità del bus*

Una prova molto semplice, che consente di determinare la differenza di velocità tra il 286 e i microprocessori precedenti di questa famiglia, è quella di eseguire le stesse istruzioni e osservare il numero di cicli di clock impiegati da ciascun micro per eseguirle.

Di seguito vengono riportati dei dati reali:

Istruzione	ciclo di clock 8088	ciclo di clock 8086	ciclo di clock 80286
MOV AX,[BX + DI]	23	19	5
JMP [BX + DI]	26	26	7
ADD [BX + DI],DX	31	23	5
SUB [BX + DI],CX	31	23	5
MUL AX,[BX + DI]	144	140	24
DIV AX,[BX + DI]	171	167	25

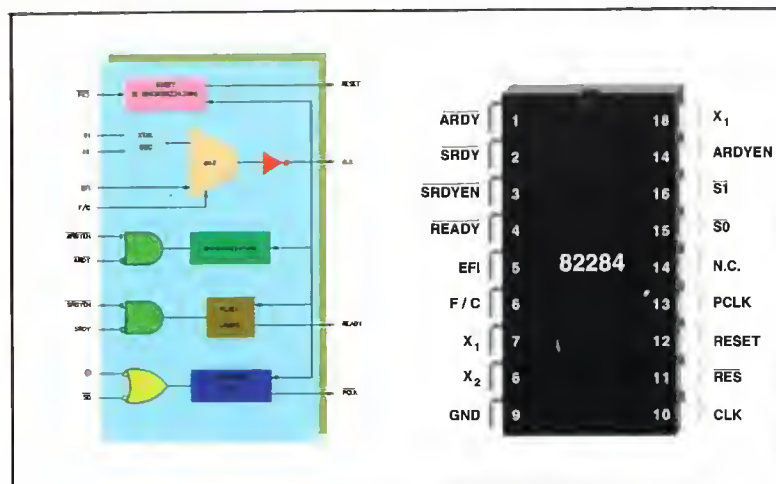
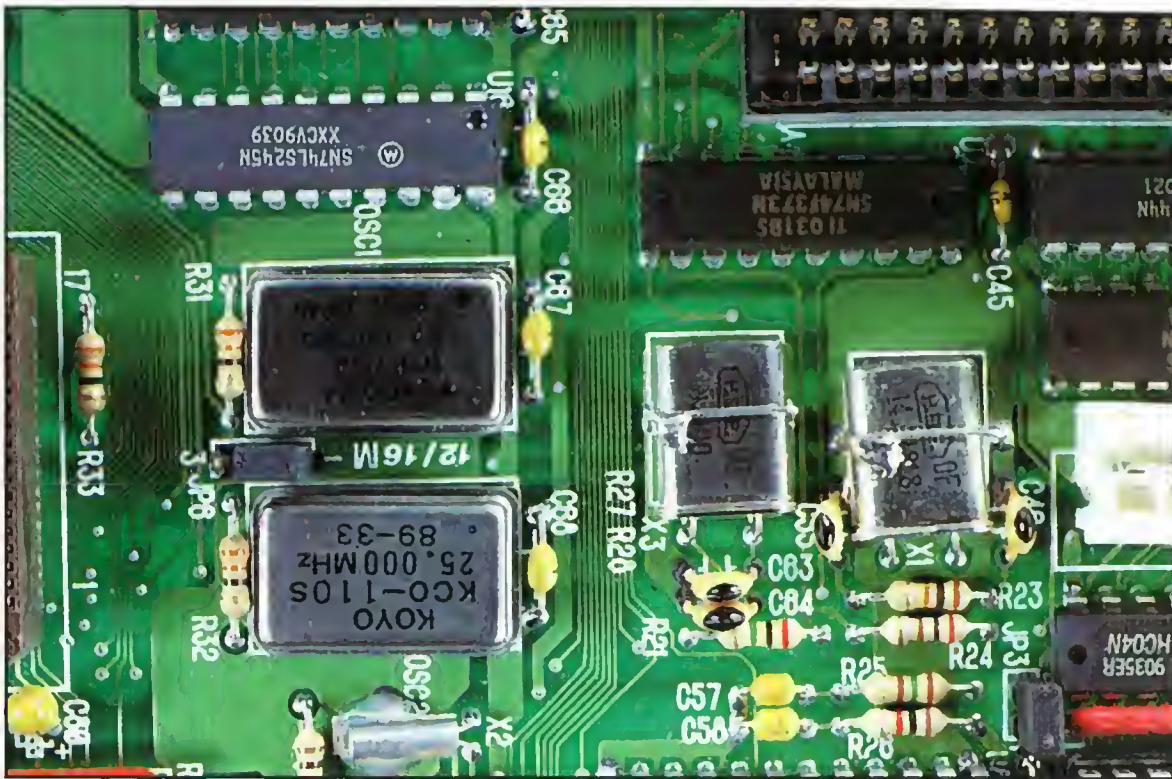
Come si può verificare, il numero dei cicli di clock è decisamente inferiore per il 286; a ciò si aggiunge il fatto che la frequenza di clock è maggiore in un sistema 80286, anche se la dimensione del bus dati è la stessa.

COMMUTAZIONE DELLE OPERAZIONI E PRIORITÀ

Il 286 appartiene alla famiglia che comprende la terza generazione di microprocessori della INTEL; questi differiscono dalle altre famiglie in particolare per la loro capacità di operare in ambiente multitasking. Per i programmatori, la velocità di elaborazione delle informazioni, il controllo del flusso del programma e l'espansione del set di istruzioni del coprocessore matematico 80287, rappresentano strumenti molto potenti e avanzati per lo sviluppo del loro lavoro.

In un sistema 80286 il software può essere strutturato in modo da poter operare in ambiente monoapplicazione o multitasking, in funzione delle necessità che deve soddisfare il programma. Ad esempio, anche se la maggior parte delle applicazioni eseguite in un PC/AT con questo

Schema a blocchi e piedinatura del generatore di clock

Il quarzo determina la velocità di lavoro del microprocessore

La maggior parte delle applicazioni sviluppate per i PC/AT sono normalmente ad esecuzione singola

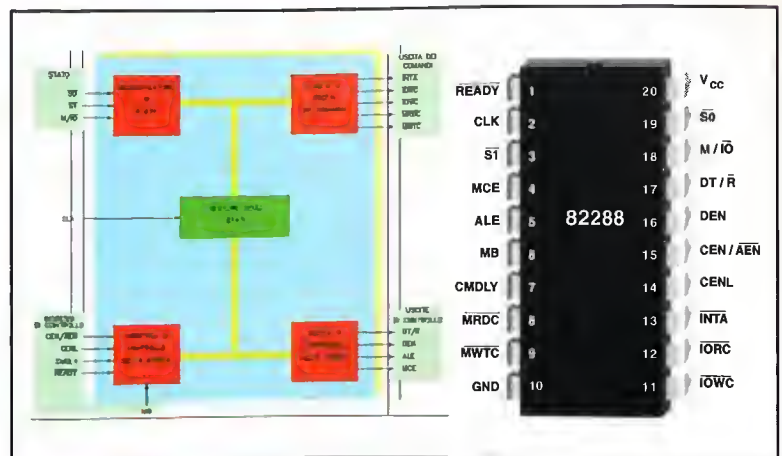
microprocessore sono normalmente monooperative, esistono altri ambienti, molto conosciuti dagli utenti di PC, che sono in grado di operare con diverse applicazioni in modo contèmporaneo, sfruttando completamente la capacità multitasking del microprocessore. Uno di questi ambienti è costituito da *Windows* della Microsoft.

Oltre alla possibilità di operare in multitasking, il 286 è dotato anche di un'altra innovazione: la gestione delle *priorità*. Questa condizione consente l'esecuzione incondizionata di alcune operazioni estranee al programma in corso, grazie all'invio di un determinato codice di livello. Il livello di priorità indica in un certo qual modo l'importanza della richiesta di accesso; ad esempio, quando il livello di priorità è basso, il microprocessore può impedire al codice in corso di eseguire operazioni di ingresso/uscita verso i dispositivi periferici, o addirittura inibire l'accesso a segmenti di dati registrati con un livello di priorità superiore. L'80286 può gestire quattro livelli di priorità (chiamati 3, 2, 1, 0, in ordine ascendente). Normalmente il codice dell'applicazione utente ha un livello di priorità 3 (il più basso di tutti), mentre il software di sistema ha il livello più alto, vale a dire 0.

Quando si utilizza un unico livello di priorità bisogna impostare il più alto, in modo da poter accedere a tutto il set di istruzioni dell'80286.

Questi strumenti, che ad un utente normale potrebbero complicare la vita, sono invece estremamente utili ai programmatori, perché permettono di poter scrivere programmi molto complessi in un modo molto semplice e strutturato.

Quando il microprocessore opera in modalità multitasking ogni applicazione deve mantenere la

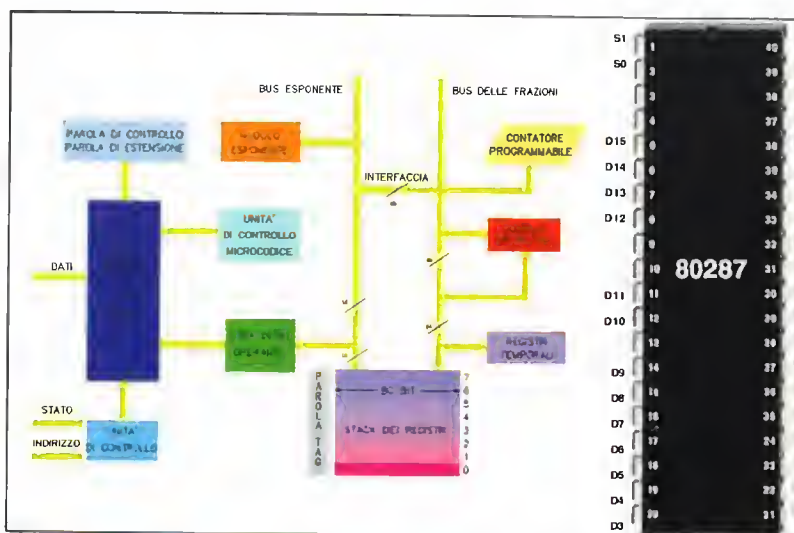
Il controller del bus è incapsulato in un contenitore "dual in line" a 20 terminali

Il microprocessore 80286 viene utilizzato principalmente nella costruzione dei personal computer

sua indipendenza, come se ciascuna di esse venisse eseguita da processori diversi. Ciò significa che una applicazione non deve invadere la zona di memoria occupata da un'altra, in modo da non provocare una possibile distruzione dei dati o delle istruzioni che porterebbe il processore al collasso. I programmi applicativi devono poter operare senza interferire con altre applicazioni, e devono poter disporre completamente dei registri di uso generale della CPU (*Central Process Unit*), mantenendo allo stesso tempo un'area di memoria esclusiva non condivisibile con altri programmi. Un esempio di multitasking in un PC AT è la possibilità di poter formattare un floppy nel drive A: e contemporaneamente lavorare con un editore di testi per scrivere un documento. Se il coprocessore 80287 sta lavorando con il microprocessore 80286, la commutazione delle applicazioni avviene in modo leggermente diverso. Il coprocessore impiega 160 cicli di clock per commutare i suoi registri, con una conseguente perdita di tempo che in questo caso può essere definita elevata; è ovvio che una situazione simile non è ammissibile, tenendo presente che la nuova applicazione potrebbe anche non richiedere l'intervento del coprocessore. Di conseguenza, i registri del coprocessore rimangono invariati finché la nuova applicazione non richiede un intervento specifico, e solo in quel momento avviene la commutazione degli stessi.

Quando il microprocessore lavora in multitasking ogni funzione deve operare in modo indipendente, come se ciascuna venisse eseguita da processori diversi

MODALITÀ REALE E MODALITÀ PROTETTA

Attualmente, grazie al livello di integrazione raggiunto dai microprocessori l'hardware proposto dai diversi costruttori si è decisamente standardizzato. Alcuni anni fa, quando i computer erano meno potenti, esistevano notevoli differenze tra le diverse schede madri presenti in commercio, e nessun costruttore pensava allo scambio di software o di dati tra calcolatori di marche dissimili o tra modelli differenti della stessa casa costruttrice. Anche quando l'avvento del PC IBM portò ad un inizio di standardizzazione e diventò il modello base, alcune delle maggiori marche di computer continuarono ad avere tra i loro prodotti certi componenti incompatibili con lo standard IBM. Era l'epoca nella quale si cominciava a utilizzare la parola *clone* per indicare i computer che erano una copia degli originali IBM. Con il passare del tempo però alcuni di questi cloni hanno addirittura superato le prestazioni dell'originale. L'evoluzio-

Nel disegno è possibile notare il numero dei registri e la loro lunghezza di 80 bit

ne dell'integrazione ha portato alla standardizzazione dei sistemi, poiché con soli tre o quattro circuiti integrati era possibile realizzare la struttura di base di un computer; a questi era sufficiente aggiungere alcune periferiche per completare il sistema.

Un elemento critico dei personal computer è costituito dal software di sistema. Infatti, il *BIOS* (*Basic Input/Output System*, o sistema di base di ingresso/uscita) di un PC AT è un prodotto software che definisce le differenze di basso livello tra un sistema e l'altro. Un livello di differenziazione più elevato è costituito dal sistema operativo impiegato: MS-DOS, DR-DOS, XENIX della Microsoft. Questi "software" gestiscono l'hardware in modo da poterlo adattare ai diversi sistemi 80286 e alle diverse applicazioni.

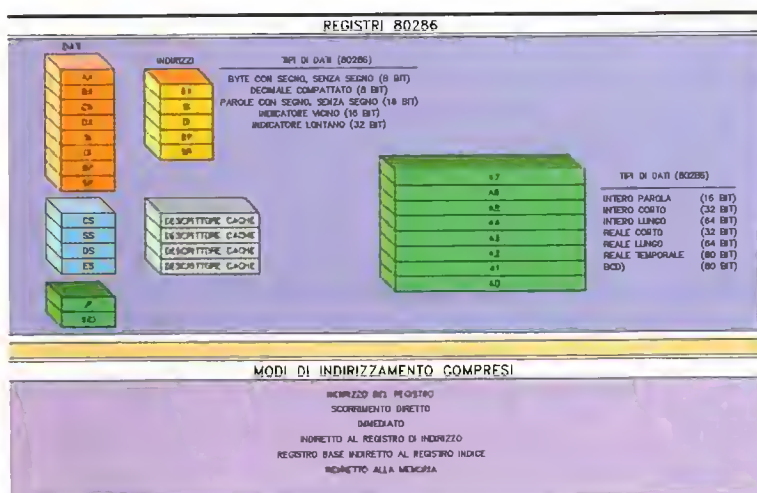
Esistono due modalità di funzionamento del 286, controllabili dal software: la modalità di indirizzamento reale e la modalità protetta ad indirizzamento virtuale. Si è già detto che la peculiarità fondamentale di questo microprocessore è la completa compatibilità con l'8086. La modalità di funzionamento che la garantisce è quella di *indirizzamento reale*, che consente di eseguire le istruzioni 8086 senza dover modificare i codici oggetto. Questo significa che tutti gli indirizzi di memoria che un programma può utilizzare sono fisici o reali, e la MMU interna dell'80286 rimane disabilitata.

Un PC AT che opera con il sistema operativo DOS funziona in modalità reale; l'80286 in modalità reale è un 8086 ad alte prestazioni, che può raggiungere velocità di elaborazione superiori da 2,5 a 5 volte rispetto a questo, in funzione del tipo di istruzione eseguita. In questa modalità operativa risultano inattive funzioni quali la memoria virtuale, il multitasking e la protezione. In qualunque caso è però disponibile il set di istruzioni esteso.

Il microprocessore 80286 consente di operare in multitasking

L'80286 funziona per default in modalità reale, e ogni volta che si riavvia, il sistema ritorna ad operare con questa modalità. Per entrare nella *modalità protetta* è necessario usare delle istruzioni in Assembler per poter scrivere un 1 nel registro MSW (parola di stato della macchina), e più precisamente nel bit corrispondente alla posizione PE (abilitazione della protezione). In questo modo si mantiene la compatibilità a livello di codice sorgente ma non a livello binario. I programmi realizzati per l'8086, per poter essere utilizzati nell'80286 in modalità protetta devono essere ricompilati. Per indirizzare la memoria in questa modalità la CPU crea alcune tabelle per le mappe degli indirizzi di memoria, denominate *indirizzi virtuali*, tramite le quali il microprocessore è in grado di andare direttamente a un indirizzo fisico della memoria. La creazione di queste tabelle costituisce proprio la ragio-

Registri, tipologia dei dati, e modalità di indirizzamento dell'80286

Il microprocessore 80286 è dotato di 19 registri, mentre il coprocessore 80287 ne ha 13

ne e il motivo per cui l'8086 risulta incompatibile con la modalità protetta.

Le applicazioni con il sistema operativo DOS vengono eseguite in modalità reale

Registri del 286

Il microprocessore 80286 è dotato di 19 registri, mentre il coprocessore 80287 di 13. Otto dei registri dell'80286 sono di uso generale, e hanno una lunghezza di 16 bit. Quattro registri, AX, BX, CX e DX forniscono ulteriore flessibilità, garantendo un accesso indipendente al byte inferiore o superiore. Quattro registri, SP, BP, SI, e DI consentono di memorizzare sia dati che indirizzi. Il registro SP (*Stack Pointer*) indica l'indirizzo dell'ultimo dato memorizzato nello stack. Il registro BP (*Base Pointer*) consente l'accesso ai dati intermedi dello stack e può essere utilizzato come registro di uso generale a 16 bit. I registri SI (*Source Index*) e DI (*Destination Index*) sono registri indice, rispettivamente di sorgente e destinazione, che vengono utilizzati nelle operazioni sulle stringhe di dati.

In questo microprocessore sono presenti altri quattro registri di segmento: *Code Segment, Data Segment, Stack Segment,* e *Extra Segment*.

Il registro IP (*Instruction Pointer*) opera da contatore di programma per aree di memoria di 64 Kbyte ciascuna, che servono per la creazione degli indirizzi di programma. In pratica, questo registro contiene la posizione relativa all'istruzione in corso all'interno del segmento di programma, e si incrementa automaticamente dopo che l'istruzione è stata elaborata.

La parola di stato contiene 9 *flag* da un solo bit che indicano il risultato dell'istruzione aritmetica o logica più recente. Questi sono costituiti dall'indicatore di riporto *Carry*, dall'indicatore di riporto ausiliario *Carry aux*, dall'indicatore di zero *Zero*, dall'indicatore di segno *Sign*, dall'indicatore di overflow *Overflow*, dall'indicatore di parità *Parity*, dall'indicatore di interrupt *Interrupt*, dall'indicatore di direzione *Direction* e dall'indicatore di modalità di funzionamento *Trap*. Altri flag sono utilizzati per la gestione del livello di priorità.

I registri numerici dell'80287 sono otto e agiscono in modo analogo ai registri generali dell'80286; l'unica differenza è che questi hanno una lunghezza di 80 bit.

Modalità di indirizzamento

Esistono sette modalità diverse di indirizzamento:
- *indirizzamento di registro,*
- *indirizzamento immediato,*
- *indirizzamento diretto,*
- *indirizzamento indiretto di registro,*
- *indirizzamento di base relativo,*
- *indirizzamento indicizzato diretto,*
- *indirizzamento di base indicizzato.*

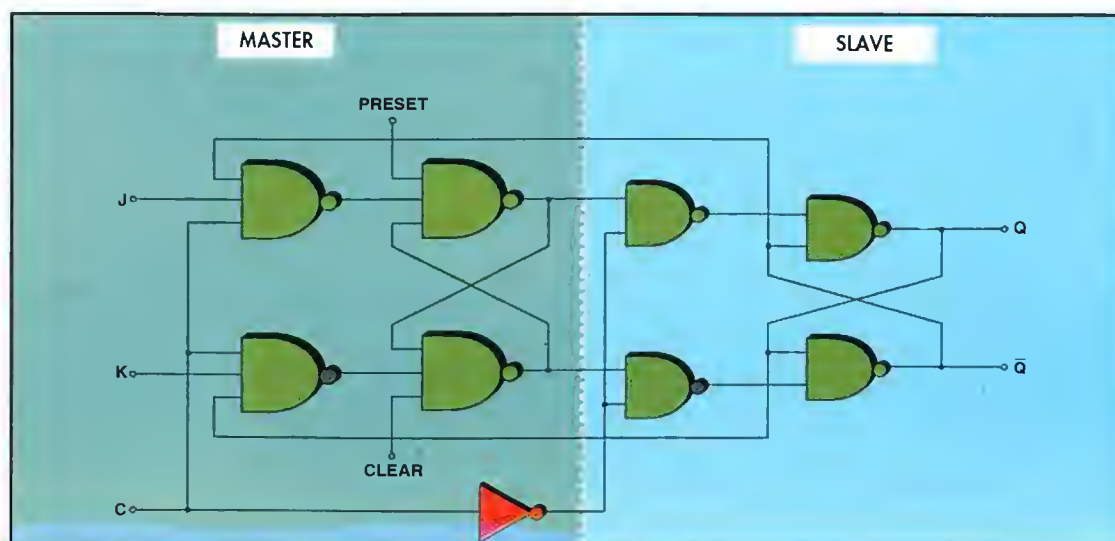
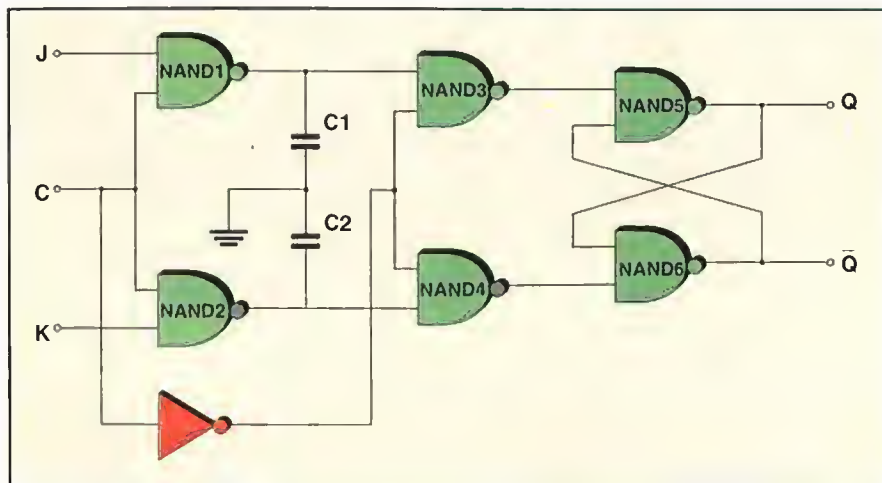
Il controllo degli interrupt viene gestito per mezzo dei segnali MNI e INTR

Interrupt

Le eccezioni e gli interrupt sono funzioni simili. Entrambe richiedono l'attività della CPU per rispondere a una richiesta urgente. La loro diversità è dovuta ai differenti punti di origine. Mentre le eccezioni vengono generate della CPU a causa di problemi o anomalie interne che si verificano durante l'esecuzione del programma, gli interrupt vengono creati dall'esterno e inviati ad uno dei due terminali di cui il microprocessore è dotato per questo tipo di funzione. Il controllo degli interrupt viene effettuato per mezzo dei segnali MNI e INTR. Esistono 256 vettori di interrupt assegnabili alle diverse periferiche.

I FLIP-FLOP

La descrizione dei diversi tipi di bistabili prosegue con l'analisi dei flip-flop più utilizzati nei circuiti elettronici, ed in particolare con l'analisi di quelli presenti nei personal computer.

Uno dei problemi che possono presentare i flip-flop J-K esaminati nel capitolo precedente è legata alla doppia reazione presente in questi circuiti, che può generare delle oscillazioni che rendono questo bistabile inutilizzabile per applicazioni pratiche. In effetti, riguardando la tabella della verità di questo flip-flop si può notare che è basata su una combinazione logica che presuppone gli ingressi indipendenti dalle uscite. In effetti, a causa del collegamento di reazione dell'uscita Q sull'ingresso K, se durante l'impulso di clock l'uscita cambia di stato anche l'ingresso verrà costretto alla commutazione. Come esempio, si supponga di avere gli ingressi J e K al livello logico 1 e l'uscita Q a 0. Quando arriva l'impulso di clock, l'uscita commuta a 1; questa commutazione avviene però dopo un certo intervallo di tempo, che coincide con il ritardo di propagazione dovuto alle due porte in serie. Ciò comporta che per un certo tempo Q e /Q, invece di essere complementari, assumono lo stesso valore, e questo provoca l'oscillazione tra 0 e 1 dell'uscita durante tutta la durata dell'impulso di clock; questa situazione è conosciuta come condizione di autooscillazione o *critical race*.

Struttura base di un flip-flop J-K Master-Slave, nel quale vengono utilizzati due bistabili R-S

Sui flip-flop master-slave possono essere eseguite alcune modifiche, in funzione dell'impiego a cui sono destinati

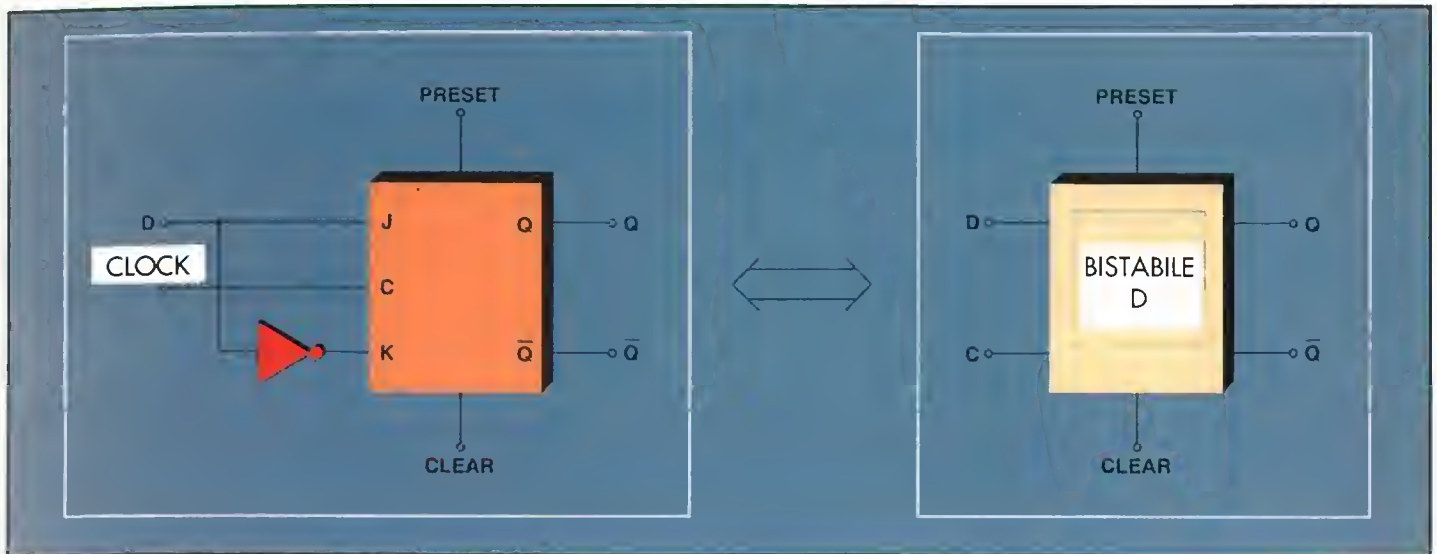
Questo problema si può risolvere utilizzando flip-flop di maggior complessità interna, come quelli chiamati master-slave.

IL FLIP-FLOP J-K MASTER-SLAVE

Il compito di questo bistabile è quello di risolvere il problema dell'instabilità propria dei flip-flop J-K classici. La filosofia seguita prevede di isolare l'uscita e l'ingresso, in modo da rendere impossibile un percorso di reazione non desiderato.
Per chiarire il funzionamento di questo tipo di bistabili viene esaminato il circuito rappresentato nella figura corrispondente. Esistono diversi momenti chiave che possono aiutare il lettore a comprendere appieno il funzionamento di questo flip-flop. Il primo di questi è riferito alla condizione di clock a livello basso. In questa situazione gli ingressi del master di tipo R-S non sono abilitati, per cui questo flip-flop risulta indipendente dai valori assunti da J e K. Contemporaneamente il flip-flop slave, anche questo di tipo R-S, risulta abilitato, per cui i suoi ingressi riproducono lo stato delle uscite del flip-flop master; di conseguenza lo slave è obbligatoriamente nella condizione imposta dal master. Successivamente, quando il clock passa a livello alto il flip-flop slave viene disabilitato, e viene inibita la comunicazione tra quest'ultimo e il master; gli ingressi dello slave rimangono perciò nella condizione definita dallo stato precedente. Le uscite del master, abilitato dal clock a 1, risentono invece l'influenza degli ingressi J e K e assumono lo stato imposto da questi. Come è facile notare, i collegamenti di reazione delle uscite Q e /Q determinano le equazioni degli ingressi del master, che sono definite da: $S = /Q \times J$ e $R = Q \times K$. In questo modo è possibile separare il momento dell'acquisizione dello stato degli ingressi J e K da quello in cui questo stato determina l'eventuale commutazione delle uscite, evitando perciò la pericolosa situazione in cui entrambi si possano trovare contemporaneamente al valore 1. Inoltre, come si può osservare nella relativa tabella della verità, la logica che condiziona le prime due porte obbliga il master ad assumere lo stato determinato dagli ingressi J e K.

J	K	CLK	Q	/Q
0	0	H	Qn	/Qn
1	0	H	1	0
0	1	H	0	1
1	1	H	inverte	

Infine, quando il clock ritorna a livello basso, lo slave riproduce la situazione in cui si trova il master in quell'istante, per cui quest'ultimo risulta isolato dall'esterno.

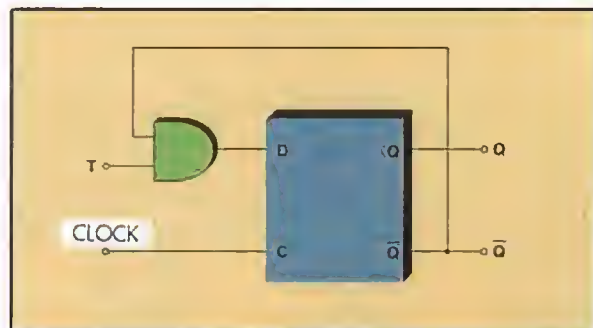
Rappresentazione schematica di un flip-flop T, e sua realizzazione pratica a partire da un bistabile J-K

Rappresentazione schematica di un flip-flop D e sua realizzazione pratica a partire da un bistabile J-K

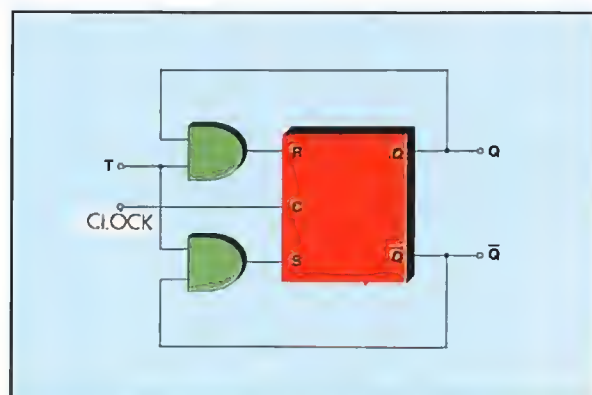
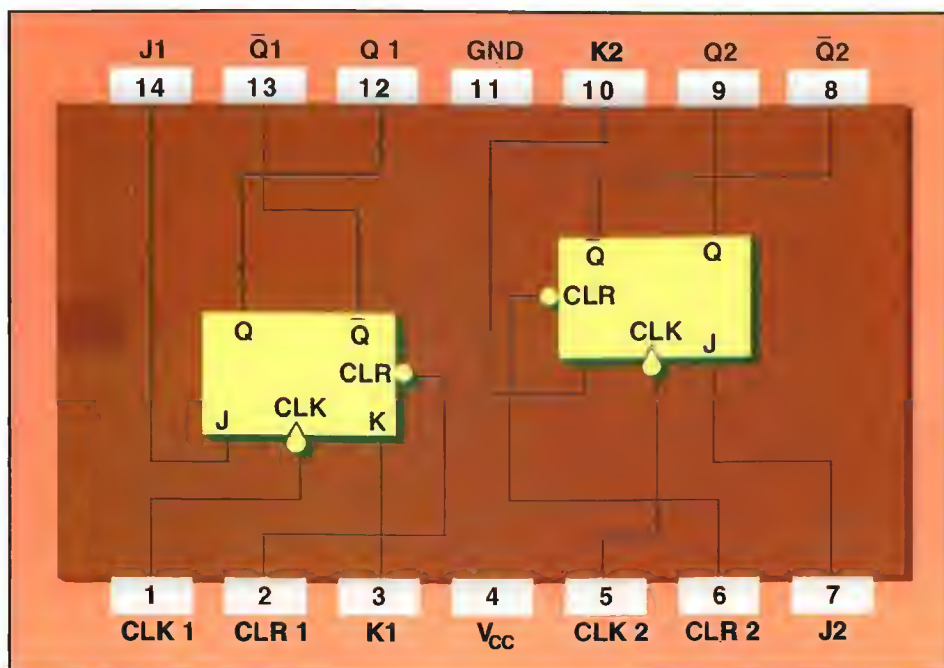
É opportuno precisare che in questo tipo di bistabili lo slave può commutare solamente nell'istante in cui il clock passa da livello alto a basso, poiché solo in quel momento i suoi ingressi vengono abilitati. D'altra parte, il master si trova collegato agli ingressi J e K per tutto il tempo in cui il clock si trova a livello alto, per cui può commutare in corrispondenza di qualsiasi variazione si verifichi sugli ingressi J e K durante questo intervallo di tempo.

Per evitare questa situazione, e per ottenere un corretto funzionamento del flip-flop, è necessario che gli impulsi di clock siano di breve durata in rapporto al loro periodo di ripetizione, e che gli ingressi J e K rimangano costanti per tutto il periodo di permanenza del clock a livello 1.

Il flip-flop tipo D

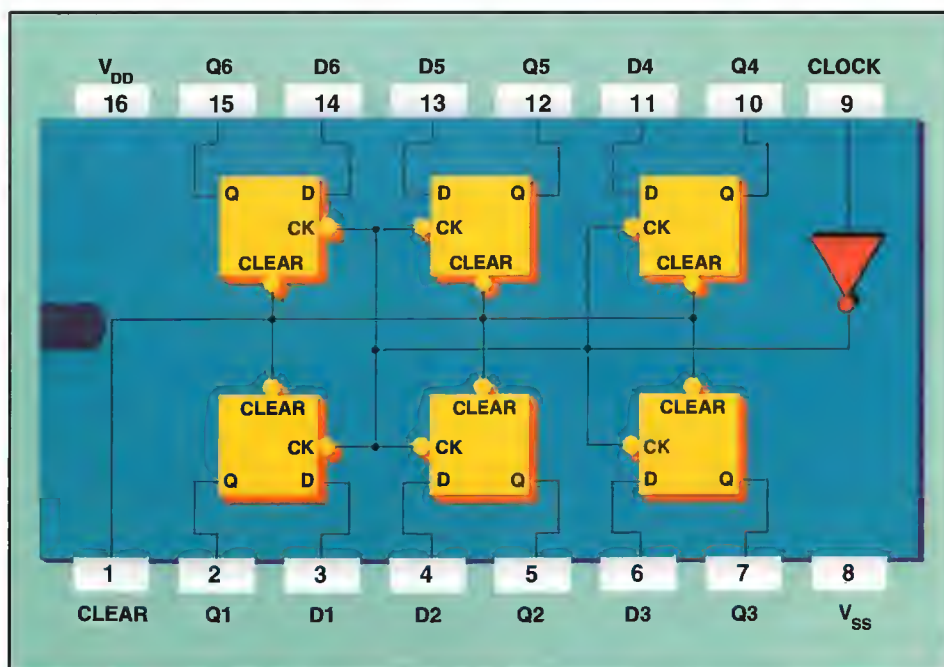
Un altro flip-flop molto utilizzato nei PC o nelle sue periferiche è quello di tipo D. Il suo funzionamento è simile a quello dei circuiti analogici *sample & hold* (di campionatura e mantenimento), per cui può essere considerato come un bistabile in grado di generare un ritardo.

Questo tipo di flip-flop si ottiene partendo da un bistabile J-K, al quale viene aggiunto un invertitore in modo che l'ingresso K diventi complementare all'ingresso J, come indicato nella figura corrispondente. Così facendo il flip-flop di tipo D risulta dotato solamente di un ingresso di segnale o dato, e di un ingresso di clock o di controllo, che in questo caso è chiamato *enable*; inoltre, l'uscita Q è generalmente singola, e viene sdoppiata solamente quando il circuito richiede anche la presen-

Flip-flop T ricavato da un flip-flop D

za del valore complementare /Q. Il suo funzionamento è molto semplice: quando sull'ingresso C di controllo è presente un livello alto, l'uscita assume in qualsiasi istante il valore presente all'ingresso

Se si applicano agli ingressi di un flip-flop R-S due porte AND, e si collegano in modo opportuno, si ottiene un bistabile T

Rappresentazione interna di un circuito integrato costituito da due flip-flop J-K master-slave, con ingresso di clear e uscite complementari

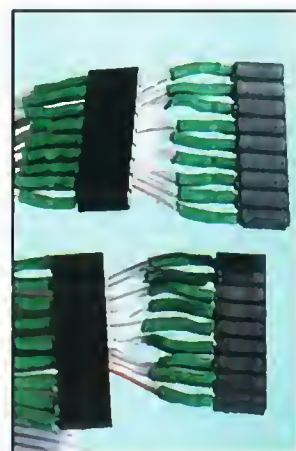
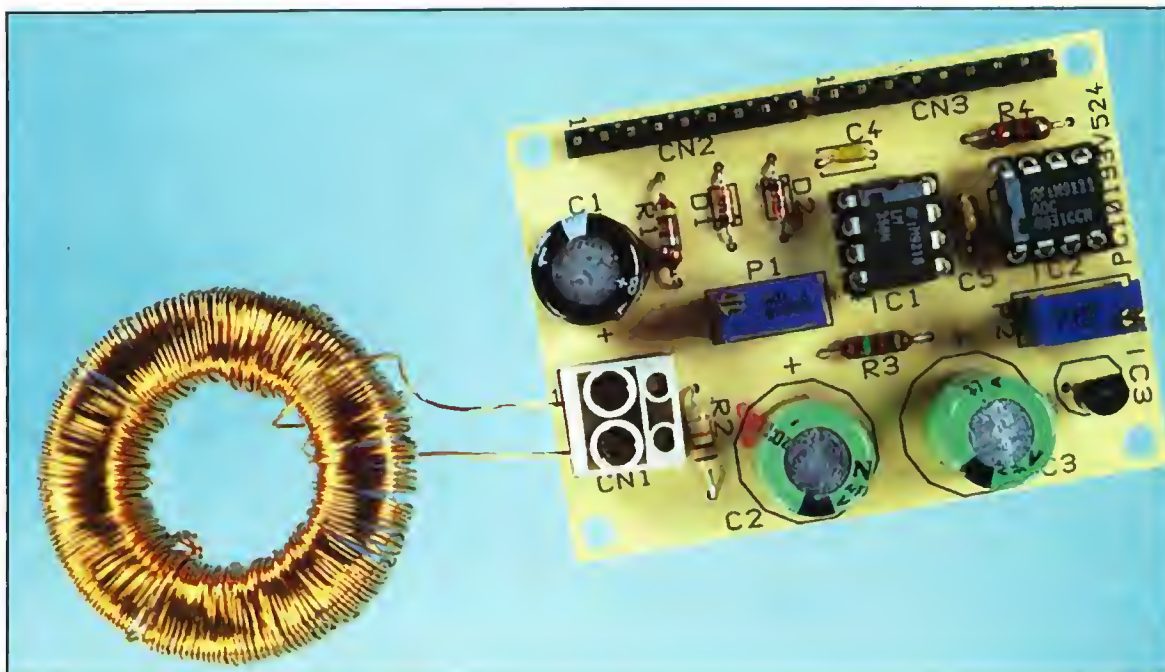
D. Quando invece il segnale di enable commuta a 0, l'uscita mantiene, o per meglio dire memorizza, l'ultimo valore presente sull'ingresso D. Se il dato inviato all'ingresso D del flip-flop viene definito come un bit, il suo trasferimento all'uscita avviene al successivo impulso di clock, per cui il dispositivo funziona come elemento che ritarda di un bit. Questo tipo di bistabile può essere indicato anche con il nome di *D-latch*.

Il flip-flop di tipo T

Come ultimo elemento della famiglia viene analizzato un bistabile che, anche se non è molto utilizzato nei calcolatori, può diventare utile quando si esegue qualche progetto personalizzato.
Questo flip-flop può essere realizzato partendo da uno qualsiasi dei flip-flop esaminati in precedenza, come si può osservare nelle figure corrispondenti. Il sistema più semplice per realizzarlo è quello di unire le due porte di un flip-flop J-K. Questo dispositivo commuta lo stato dell'uscita a ciascun impulso di clock, per cui si può dire che agisce come un interruttore con memoria. Una delle sue applicazioni più tipiche è nel campo della divisione di frequenza, della quale si è già parlato nei capitoli precedenti.

Schema interno di un circuito integrato in tecnologia CMOS, nel quale sono incorporati 6 flip-flop D

Programma per il controllo del consumo di energia elettrica

La completezza dell'indicazione visiva fornita dal programma che verrà di seguito presentato sarà un fattore determinante per convincere i lettori a realizzare il montaggio del circuito stesso.

Dopo aver eseguito il montaggio della scheda di interfaccia che consente di misurare la corrente che passa attraverso una determinata linea, verranno descritte di seguito le regolazioni della stessa e i comandi per la gestione del programma che la

Questo circuito consente di misurare la potenza assorbita da una determinata linea elettrica

Vista generale del circuito collegato al sensore

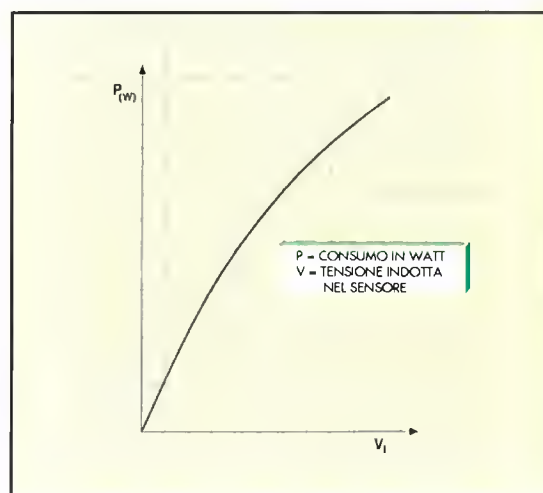
controlla. A differenza di quanto avvenuto con altri montaggi, in questo caso è necessario utilizzare il programma già in questa fase, poiché sarebbe impossibile in altro modo realizzare le regolazioni necessarie al circuito per il suo corretto funzionamento; dopo aver eseguito la messa a punto, si tornerà nuovamente al programma per poterlo esaminare in modo più dettagliato.

REGOLAZIONE DELLA SCHEDA DI INTERFACCIA

I programmi contenuti nel dischetto allegato possono essere così suddivisi: da una parte i file POT.EXE e POT.UIR, che sono gli unici necessari per l'esecuzione del programma, e dall'altra i restanti file che possono essere utilizzati per eventuali modifiche successive.

Lanciando il file POT.EXE viene visualizzata la schermata iniziale del pannello per il controllo della scheda di interfaccia; i singoli comandi che compaiono in questa videata saranno oggetto di una successiva e dettagliata descrizione. Per poter effettuare le regolazioni richieste è necessario, prima di avviare il programma, eseguire le seguenti operazioni :

Eseguendo il file POT.EXE compare la schermata del pannello di controllo del circuito

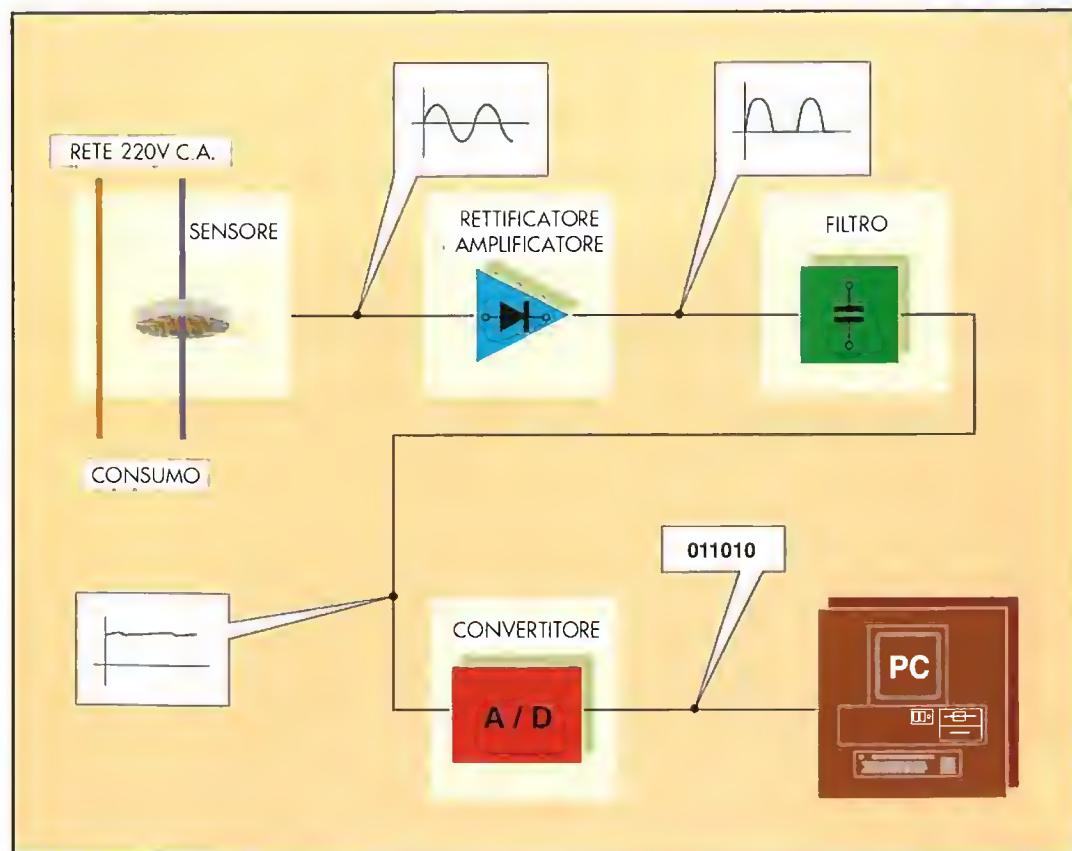
- collegare la scheda di interfaccia alla scheda di I/O con i cavi piatti realizzati allo scopo,
- inserire il ponticello J1 presente sulla scheda di I/O nella posizione A,
- applicare la bobina del sensore al circuito elettrico oggetto della misura, come indicato nel capitolo precedente, e collegarla all'interfaccia,
- avviare il programma e attivare il pulsante di accensione sul pannello di controllo,
- cliccare sulla finestra indicata con "Campionatura" e selezionare l'opzione "CONTINUA",
- cliccare sulla finestra indicata con "Indirizzo" e selezionare l'opzione "H300",

Andamento della tensione rilevata ai capi della bobina, in funzione dell'assorbimento della linea sotto controllo

Se il consumo è nullo, il grafico deve indicare "0.00"

Schema della conversione analogico/digitale che precede il processo di misura

- collegare al circuito sotto controllo un elettrodomestico qualsiasi il cui assorbimento sia già noto; per semplificare le regolazioni si consiglia di utilizzare un apparecchio la cui potenza assorbita sia compresa tra 1000 e 2000 W.
- attivare il pulsante "Marcia": il grafico e gli indicatori cominceranno a riportare i valori della misura.

Questo è il momento giusto per eseguire le regolazioni del circuito. Per realizzare questa operazione vengono utilizzati i potenziometri presenti sulla scheda. Agendo su P1 bisogna cercare di far coincidere la lettura che compare sull'indicatore "Potenza in kW" con la potenza reale assorbita dall'elettrodomestico che si è collegato alle rete sotto controllo. Nel caso questa operazione risulti difficoltosa, è sufficiente regolare il potenziometro in modo che la lettura visualizzata sullo schermo sia il più possibile corrispondente al valore di assorbimento reale. La seconda regolazione deve essere effettuata sul potenziometro P2, dopo aver scollegato la linea sotto controllo dalla rete elettrica, o più semplicemente dopo aver spento l'elettrodomestico. Quando si è in condizione di non assorbimento, sia il grafico che l'indicatore "Potenza in kW" devono riportare questo valore nullo. Se così non fosse è necessario agire su P2 finché la lettura non corrisponde al valore "0.00". Gli hobbisti elettronici si dividono in due categorie: quelli che al primo tentativo riescono a rego-

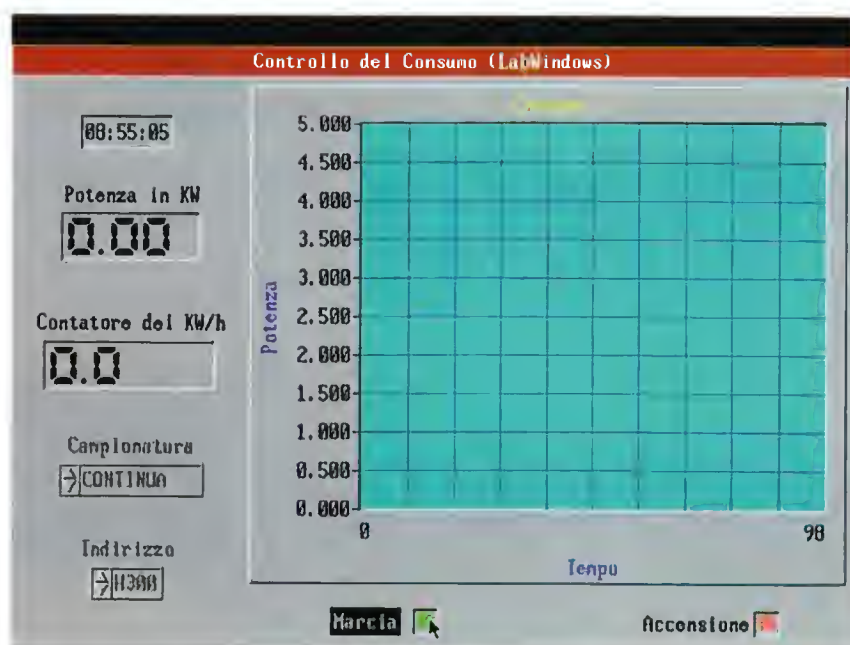
I segnali rilevati dal sensore devono essere adattati alle necessità dell'ADC, che li rende intelligibili per il computer.

La selezione delle opzioni "Campionatura" e "Indirizzo" deve avvenire prima dell'inizio della misura

lare l'apparecchiatura e quelli che invece hanno sempre qualche piccolo problema. Se si appartiene alla prima categoria si può essere certi che il circuito verrà regolato perfettamente al primo tentativo. Se, al contrario, si appartiene alla seconda categoria, può accadere che una delle due regolazioni non risulti precisa come richiesto dalle specifiche indicate. Ciò non deve però destare preoccupazione. Infatti, l'azione fatta sul potenziometro P2 ha sicuramente influito sulla regolazione eseguita su P1, per cui è necessario ricollegare il carico al circuito e regolare nuovamente P1. Dopo aver eseguito questa operazione, e per una maggior precisione del circuito, sarebbe opportuno scollegare nuovamente il carico e regolare ancora P2 finché la lettura non riporta il valore "0.00"; è importante che questa risulti precisa e, poiché non vi sono carichi collegati, dovrà corrispondere esattamente al valore "0.00" e non oscillare ad esempio tra "0.00" e "0.05".

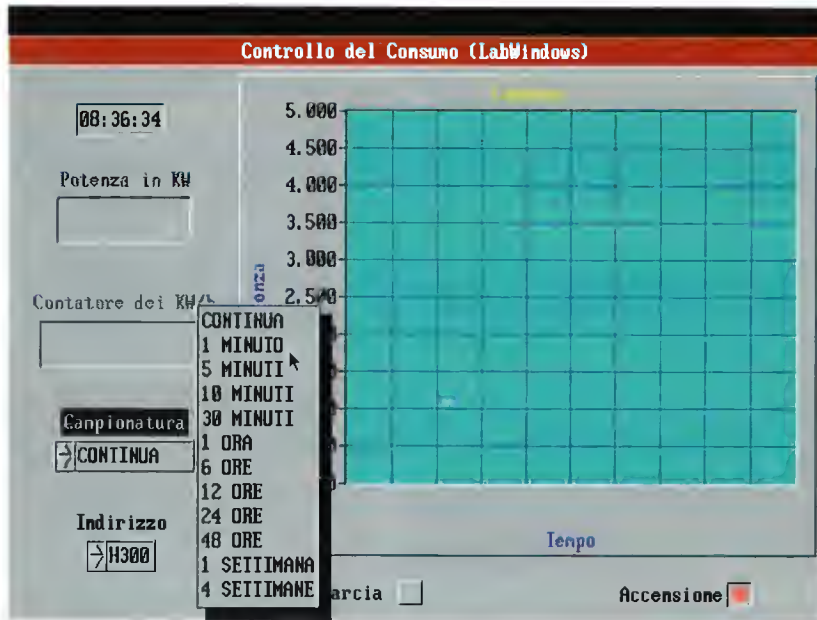
Per collegare l'interfaccia alla scheda I/O è necessario costruire una coppia di cavi piatti a 9 fili

Come si può vedere le operazioni necessarie per la regolazione non sono assolutamente complicate; è sufficiente avere un minimo di pazienza ed essere un po' pignoli. Può comunque accadere che per ottenere la precisione richiesta sia necessario ripetere più volte le sequenze indicate. Ciò è dovuto al fatto che la regolazione di uno dei potenziometri può influire leggermente su quella dell'altro.

Riassumendo, quando si è raggiunta una lettura quasi precisa del consumo reale, e una lettura di 0 W con assorbimento nullo, si può considerare la scheda perfettamente regolata.

Pannello di controllo che compare sullo schermo quando si lancia il programma di gestione della scheda di interfaccia

Il programma

Come si è potuto notare, il programma non si limita ad una definizione qualitativa dell'andamento del consumo elettrico sullo schermo, ma converte i dati in una forma perfettamente intelligibile e quantitativa, fornendo molto più di una semplice indicazione visiva. Vengono di seguito esaminati i diversi comandi e opzioni disponibili sul pannello di controllo .

Per prima cosa è opportuno ricordare che le impostazioni dell'opzione "Campionatura" e dell'opzione "Indirizzo" devono essere eseguite prima di avviare il processo di misura. Come si può osservare, quando si avvia il pannello di controllo questi due parametri sono già attivi per richiamare l'attenzione dell'utente, in modo

La prima selezione da impostare è il tempo di durata della misura

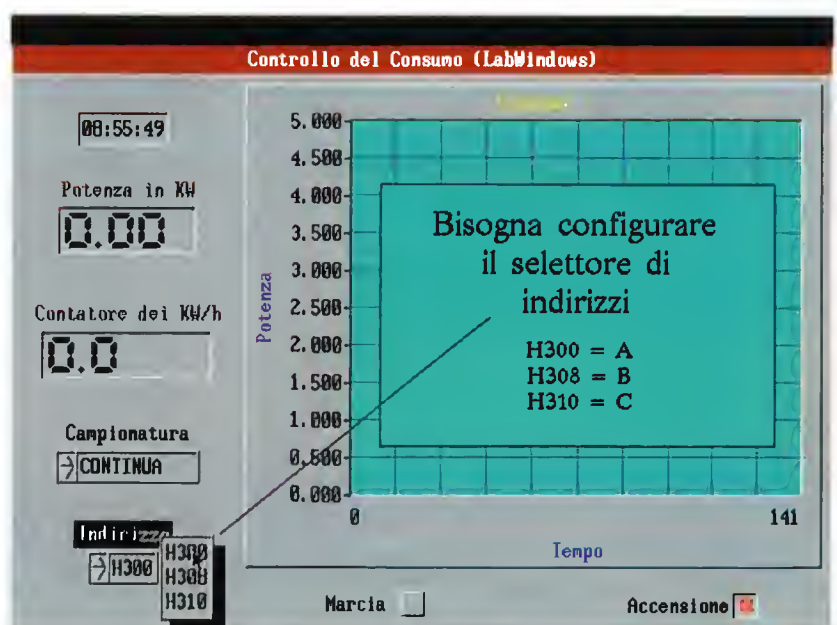
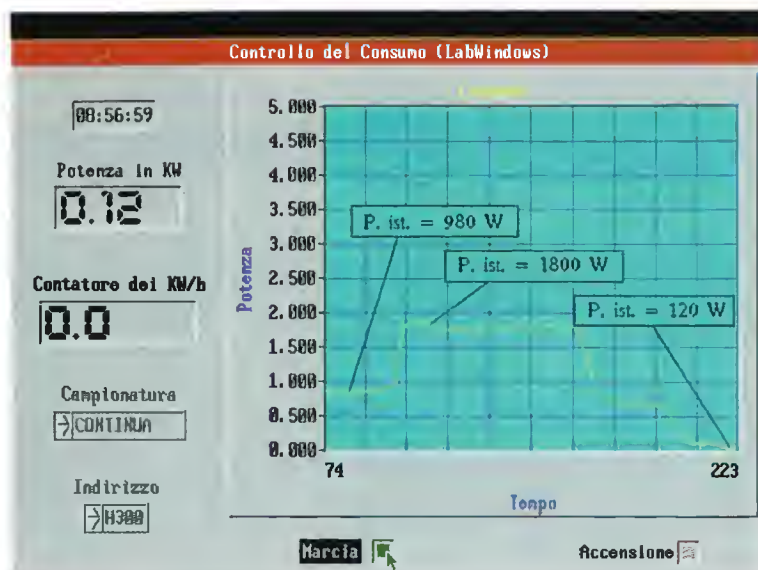
la misura, ma i valori continuano ad essere visualizzati grazie allo spostamento proporzionale dell'area di visualizzazione.

Finché non si preme il pulsante "Marcia" le misure risultano inibite

Infatti, in questo caso la finestra grafica si sposta automaticamente verso sinistra per poter continuare a rappresentare i punti corrispondenti alla misura eseguita. Tra le possibili selezioni presenti nel menu "Campionatura" una, che non corrisponde ad alcun periodo di temporizzazione, ha sicuramente richiamato l'attenzione del lettore. Si tratta dell'opzione "CONTINUA". Tutte le altre selezioni prevedono l'adeguamento della grafica rispetto al tempo di campionatura, in modo che il risultato sia quello desiderato. Con l'opzione "CONTINUA" invece la graduazione dell'asse orizzontale è libera, e il grafico ottenuto risulta limitato esclusivamente dalla velocità reale della CPU del proprio elaboratore. Con questa impostazione, quando la rappresentazione è realmen-

che questi esegua le opportune impostazioni. Finché non si preme il pulsante "Marcia" il processo di misura è disabilitato. All'interno della finestra "Indirizzo" si hanno tre possibilità di scelta, corrispondenti ai tre indirizzi (in esadecimale) di configurazione della scheda di I/O. Questi indirizzi sono H300, H308 e H310, e corrispondono rispettivamente alle tre possibili posizioni A, B e C del jumper di configurazione presente sulla scheda stessa. L'impostazione del parametro "Campionatura" può essere eseguita scorrendo numerose possibilità di scelta, in quanto è riferita al dominio nel tempo. Queste possibilità sono relative ai diversi periodi di durata della campionatura, che possono andare da un minuto fino ad un massimo di 4 settimane.

In pratica, da questa selezione deriva anche l'impostazione della scala relativa all'asse orizzontale del grafico. Come si può osservare, la rappresentazione corrisponde ai valori istantanei della potenza assorbita; selezionando un periodo di campionatura di 5 minuti ad esempio, si indica al programma che la rappresentazione grafica deve impiegare quel tempo per percorrere orizzontalmente tutto lo schermo. Questa correlazione temporale è molto utile nel momento in cui si analizza il grafico risultante; in effetti però, quando la traccia che rappresenta la potenza assorbita raggiunge il bordo destro dello schermo non viene interrotta

Con l'impostazione dell'opzione "Indirizzo" si indica al programma l'indirizzo al quale è stata configurata la scheda di I/O

Il pulsante di "Marcia" può essere attivato solo dopo aver impostato la configurazione dei controlli "Campionatura" e "Indirizzo"

Il grafico visualizza la variazione del consumo rispetto al tempo

te istantanea, il momento in cui deve avvenire la campionatura è determinato solamente dalla velocità del PC.
Occorre precisare che questa realizzazione è stata studiata per operare con apparecchiature sufficientemente veloci. Va però detto che tutte le prove eseguite su elaboratori dotati di processori 286 e superiori hanno dato risultati più che soddisfacenti. L'unico difetto è legato a una certa lentezza della rappresentazione (la misura resta però esatta) riscontrato in apparecchiature particolarmente obsolete: personal computer XT (sicuramente non più attuali) funzionanti a bassa frequenza (senza il turbo inserito). Ciò significa che con un PC XT a 4,47 MHz può capitare che la rappresentazione non risulti precisa come si vorrebbe (ma solamente rispetto al tempo di campionatura). Inoltre, bisognerà armarsi di molta pazienza per sopportare la lentezza di caricamento iniziale dei dati e per attendere la comparsa della rappresentazione grafica del pannello di controllo.
Dopo aver effettuato la configurazione dei parametri "Campionatura" e "Indirizzo" con i dati necessari è possibile attivare il pulsante "Marcia". Da questo stesso istante inizia il processo di misura, e sull'indicatore di potenza in kW appare il valore istantaneo della potenza assorbita sulla linea controllata dalla bobina del sensore. Inoltre, è presente anche un indicatore di kW/h che memorizza e somma i valori istantanei dell'assorbimento, per consentire al lettore di valutare il costo relativo all'impiego dell'apparecchiatura sotto esame. É importante segnalare che questo indicatore viene automaticamente resettato ogni volta che si esce dal programma per cui, se si desidera avere un controllo dell'assorbimento per un periodo mediamente prolungato, bisogna mantenere attivo il programma in modo continuativo.
L'ultimo indicatore, ma non per questo il meno importante, presente sul pannello di controllo è costituito dalla finestra grafica, nella quale è possibile osservare non solo il valore istantaneo dell'assorbimento, ma anche il suo andamento nel tempo preimpostato, ed alcune altre informazioni piuttosto interessanti che sarebbero difficili da ricavare dal semplice valore numerico fornito dall'indicatore posto sulla parte sinistra del pannello di controllo.
Risulta chiaro che la traccia rappresentata sul

Carichi di diversa natura possono provocare picchi di rilevazione anomali

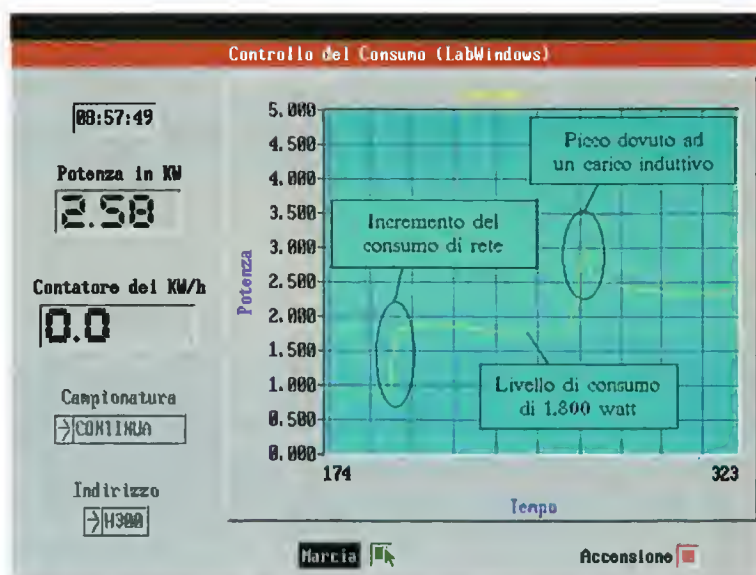
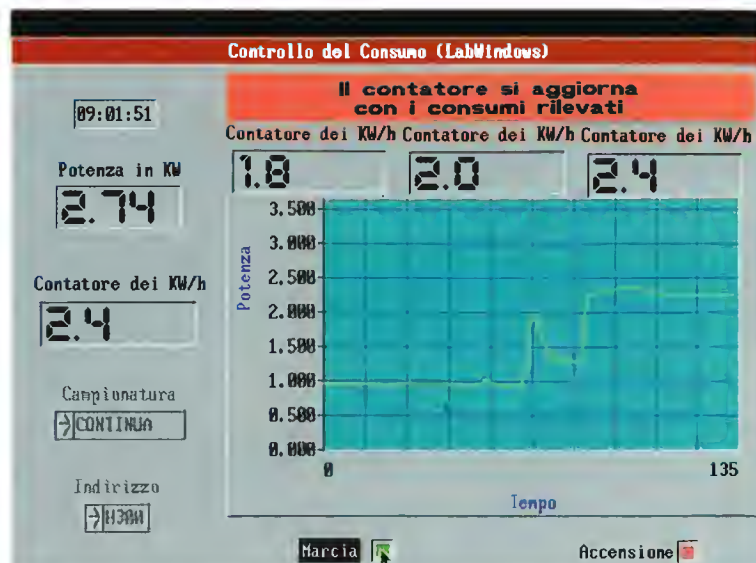
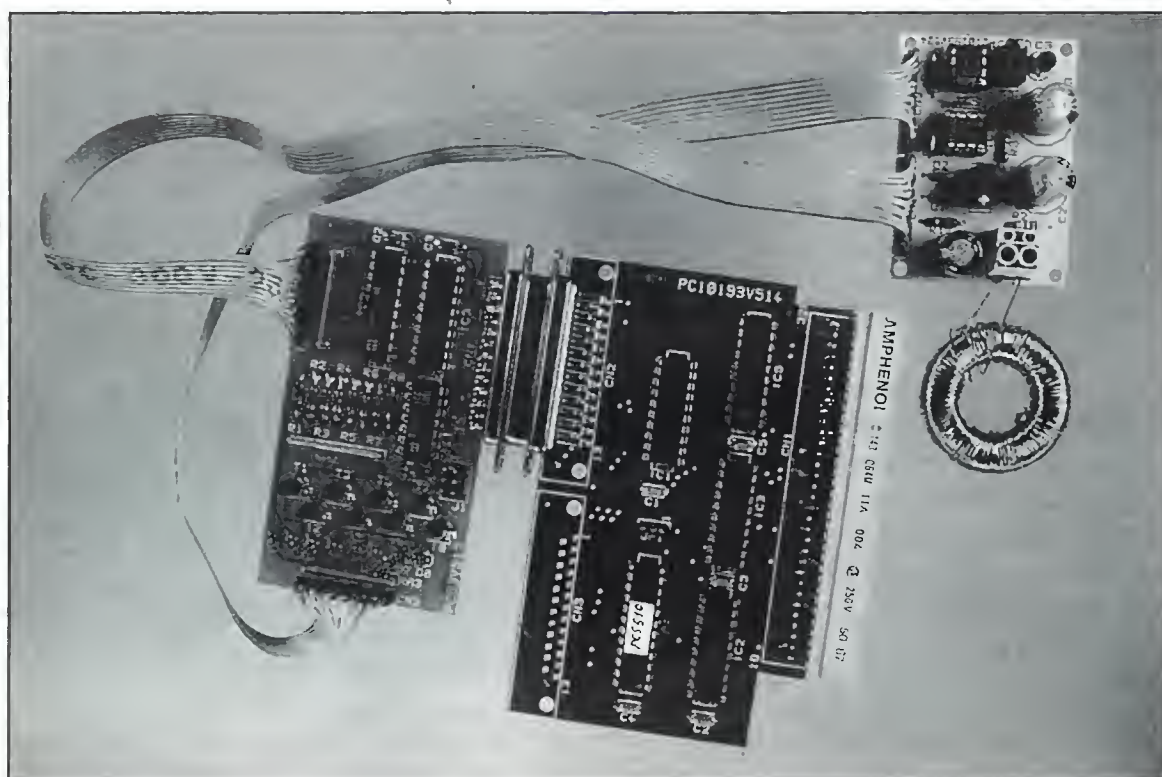
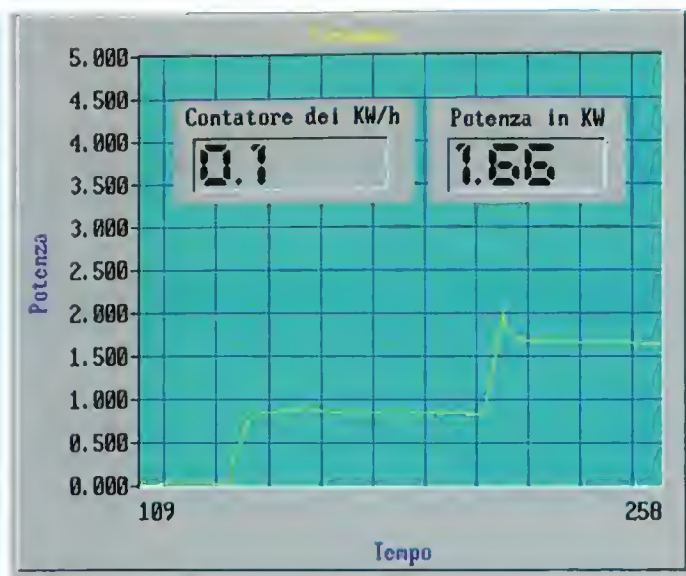



grafico viene formata digitalizzando i valori corrispondenti alle letture istantanee effettuate. Quando i carichi collegati alla linea sotto controllo sono di tipo prettamente resistivo, la lettura riportata dall'indicatore della potenza assorbita coincide in modo quasi perfetto al grafico rappresentato sul pannello, mentre con carichi di tipo induttivo, come può essere un aspirapolvere, un ventilatore di una certa potenza, oppure un televisore (all'accensione le sue bobine smagnetizzatrici lo convertono in un carico fortemente induttivo) si produce un assorbimento extra all'atto della loro accensione. Questo fenomeno da origine ad un effetto conosciuto con il nome di *picco di avviamento*, difficile da apprezzare con un wattmetro di tipo digitale (compreso l'indicatore numerico presente sul pannello di controllo). Agli effetti grafici però la situazione cambia; infatti, se viene collegato alla linea sotto controllo un carico di questo tipo, viene visualizzato un picco extra di consumo in corrispondenza dell'accensione dell'apparecchiatura. Come si può osservare nella figura corrispondente, l'avviamento di questo tipo di elettrodomestici comporta un assorbimento istantaneo molto superiore rispetto all'assorbimento medio dell'apparecchiatura stessa. Risulta chiaro dalla figura che questo picco non ha una durata molto prolungata, e che l'assorbimento si stabilizza rapidamente.

I fenomeni "strani" associati all'assorbimento di una linea controllata dal circuito proposto (come

Il rilevatore di consumo memorizza e somma le misure istantanee e le indica in kW/h

La scheda di interfaccia deve essere collegata alla scheda di I/O realizzata in precedenza

L'indicazione della potenza espressa in kW definisce il valore istantaneo della stessa

Bisogna distinguere tra misura istantanea (riportata dall'indicatore "Potenza in KW") e assorbimento (riportato dall'indicatore dei kW/h)

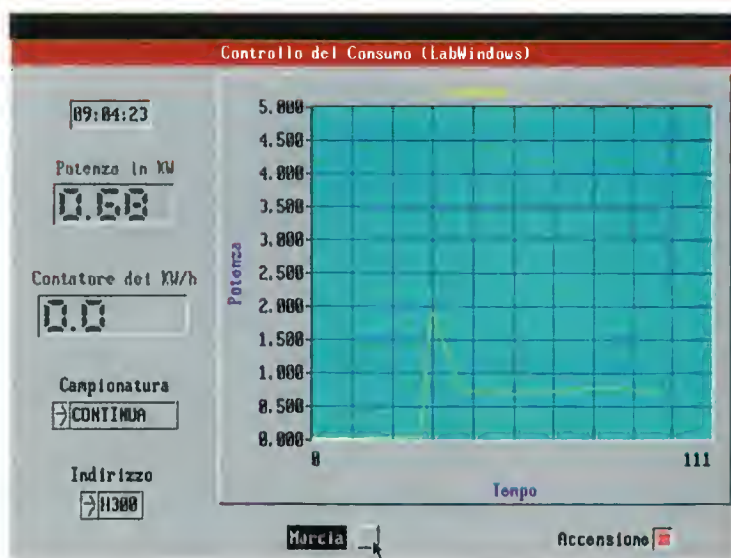
quello descritto nel paragrafo precedente), possono essere misurati con esattezza grazie al reticolo graduato presente sullo schermo della traccia e al valore selezionato con l'opzione "Campionatura" (è importante ricordare che non è possibile avere una graduazione dell'asse dei tempi se l'opzione "Campionatura" è impostata a "CONTINUA").

Inoltre, è possibile interrompere il processo di misura, e con questo l'acquisizione dei dati sia istantanei che cumulativi da parte dei relativi contatori; per eseguire questa operazione si deve semplicemente premere il pulsante "Marcia". Interrompendo l'ingresso dei dati, sia l'indicatore della potenza istantanea che quello della potenza assorbita si pongono in condizione di attesa; l'interruzione del processo è anche visiva, poiché questa situazione rende meno brillante la rappresentazione sullo schermo degli indicatori, e la traccia grafica non viene più sviluppata. Per riprendere il lavoro è sufficiente ripremere il pulsante "Marcia", e l'acquisizione dei dati viene riattivata.

Per effettuare la misura è sufficiente premere il pulsante "Marcia"

Tra tutti gli indicatori citati ne è presente uno sul quale non è possibile intervenire, corrispondente all'indicazione oraria presente nell'angolo superiore sinistro del pannello di controllo. Non si deve trascurare questa indicazione, che ovviamente è legata al clock interno del computer. Infatti, grazie a questa indicazione, assieme alla rappresentazione grafica e al valore impostato con l'opzione "Campionatura", è possibile valutare in modo approfondito l'andamento della potenza assorbita durante le diverse fasi del periodo temporale rappresentato sullo schermo.

Per i più perfezionisti si ricorda che per ottenere una indicazione esatta dell'ora è necessario regolare correttamente l'orologio interno dell'elaboratore. Questa impostazione non è difficile da ottenere, poiché è sufficiente eseguire dal sistema operativo il comando TIME del DOS prima di avviare il programma e inserire l'ora corretta.

Infine, è importante ricordare che alcuni programmi (compresi alcuni videogiochi) richiedono l'accesso all'interrupt incaricato di controllare la data e l'ora del PC. Poiché il programma di controllo del consumo di energia elettrica utilizza proprio questo interrupt, si consiglia di resettare il calcolatore se prima è stato eseguito qualche altro programma, o almeno verificare che quel programma non sia incompatibile con quello del controllo.

Premendo nuovamente il pulsante di "Marcia" vengono inibiti gli indicatori, ed è possibile esaminare il grafico risultante